

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.20.013

# 基于 Matlab 的自动喷水灭火系统设计计算

王远飞, 徐强, 曾超, 杨林, 陈星  
(中国建筑西南设计研究院有限公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 自动喷水灭火系统作用面积内喷头喷水强度及配水干管压力的水力计算过程较为复杂,常规笔算方法可通过等效替换等策略提高计算效率,但通常会导致结果存在偏差。基于 Matlab 的水力计算方法(M-逐点算法)可根据最不利点喷头工作压力自动完成系统总流量及始端节点压力的准确计算,利用其内置函数可高效处理水力计算过程中涉及的迭代计算及非线性方程求解问题,与常规水力计算方法相比,压力及流量误差分别降低约2.53%及0.70%。分析采用不同 $C_h$ 系数时海曾-威廉公式的水力计算结果,探讨根据项目实际差异化选择 $C_h$ 系数的意义。对现行规范采用的管道单位长度沿程水头损失公式进行对比,提供达西公式应用于自动喷水灭火系统设计计算的数字化路径。针对配水支管配管模式优化进行水力特性及经济性分析,提供非末端配水支管管径优化的实践路径。

**关键词:** 自动喷水灭火系统; Matlab编程; 水力计算; 迭代计算; 非线性方程; 逐点算法

中图分类号: TU998.1 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2025)20-0086-08

## Design and Calculation of Automatic Sprinkler System Using Matlab

WANG Yuan-fei, XU Qiang, ZENG Chao, YANG Lin, CHEN Xing  
(China Southwest Architectural Design and Research Institute Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The hydraulic calculation process for determining the spray intensity at sprinkler heads and the pressure within the distribution mains in the effective area of an automatic sprinkler system is highly complex. While conventional manual calculation methods may enhance computational efficiency through techniques such as equivalent substitution, they often result in inaccuracies or deviations in the final results. The hydraulic calculation method based on Matlab, referred to as the M-point-by-point calculation method, enabled automatic and precise computation of the total system flow rate and the pressure at the starting node, using the sprinkler head working pressure at the most hydraulically unfavorable point as input. By leveraging Matlab's built-in numerical computing capabilities, the method efficiently addressed iterative calculations and nonlinear equation solving tasks inherent in the hydraulic calculation process. In comparison with conventional hydraulic calculation approaches, this method reduced errors in pressure and flow rate by approximately 2.53% and 0.70%, respectively. The hydraulic calculation results using the Hazen-Williams formula under varying  $C_h$  coefficients were analyzed, and the significance of differentiating  $C_h$  coefficient selection based on actual projects was explored. The equations for head loss per unit length along the pipeline specified in current standards were compared to establish a computational framework that enables the application of Darcy-Weisbach formula in the design and hydraulic calculation of automatic sprinkler systems. A comprehensive analysis of hydraulic

characteristics and economic benefit was conducted to optimize the piping configuration of distributing branches, and a practical methodology for optimizing pipe diameters of non-terminal distributing branches were proposed.

**Key words:** automatic sprinkler system; Matlab programming; hydraulic calculation; iterative calculation; nonlinear equation; point-by-point calculation method

## 1 研究背景

自动喷水灭火系统(简称自喷系统)是室内消防给水系统的重要组成部分,广泛应用于各类工业和民用建筑初期火灾的探测、报警及降温、扑救。基于《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017,简称《喷规》)的自喷系统水力计算过程较为繁复,笔算难以获得准确结果,因此相关领域学者采用多种辅助软件对该计算过程进行了优化。余小明<sup>[1]</sup>采用EXCEL迭代功能进行计算,有效降低了笔算难度,但并未将短立管部分水头损失纳入水力计算过程,致使结果准确性偏低。黄黎明等<sup>[2]</sup>借助EPANET及FluidFlow等商业软件对自喷系统进行建模计算,在一定程度上提高了计算效率,然而水头损失公式、局部水头损失计算方法、单位换算精度等影响水力计算结果的基础设计依据均被封装在软件内部,基于该类软件的计算结果常与现行《喷规》存在一定出入且难以手动修正。针对上述问题,笔者考虑采用Matlab进行自喷系统水力计算。Matlab是一款广泛应用于科学研究及工程设计的商业数学软件,借助其科学计算能力能够解决自喷系统水力计算中涉及的非线性方程求解及迭代计算问题,以此为基础可实现系统设计的准确性及经济性优化。

## 2 水力计算算法优化

### 2.1 基于Matlab的水力计算方法

某项目自喷系统参照中危险级Ⅰ级进行布防,系统作用面积为160 m<sup>2</sup>,设置通透率大于70%的栅板类吊顶,采用普通K80上喷喷头,最不利喷头设计压力取0.090 MPa以避免全局喷水强度低于规范要求要求的7.8 L/(min·m<sup>2</sup>)。

根据《喷规》,管道单位长度水头损失计算应采用海曾-威廉公式,如下式所示:

$$i = 6.05 \frac{q_g^{1.85}}{C_h^{1.85} d_j^{4.87}} \times 10^7 \quad (1)$$

式中: $i$ 为管道单位长度水头损失,kPa/m; $d_j$ 为

管道计算内径,mm; $q_g$ 为管道设计流量,L/min; $C_h$ 为海曾-威廉系数,其为管道粗糙程度的度量,热镀锌钢管一般取120。

喷头流量及管道沿程水头损失计算见下式:

$$q_s = K \sqrt{10P_s} \quad (2)$$

$$H_s = iL \quad (3)$$

式中: $q_s$ 为喷头流量,L/min; $K$ 为喷头流量系数; $P_s$ 为喷头工作压力,MPa; $H_s$ 为管道沿程水头损失,kPa; $L$ 为管道长度与管件当量长度之和,m。

该自喷系统末端管道布置如图1所示。

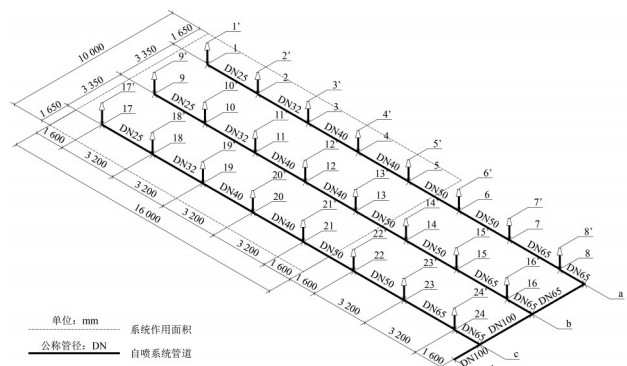


图1 自喷系统末端管道布置示意

Fig.1 Schematic of pipeline layout at the end of the sprinkler system

自喷系统常规水力计算方法主要为特性系数法<sup>[3]</sup>及逐点计算法<sup>[4]</sup>,同时,对于短立管管段水头损失,通常直接忽略或选用复合喷头法<sup>[3]</sup>进行近似计算,上述方法均存在以等效替代思想简化运算过程导致结果存在一定误差的问题。基于Matlab的水力计算方法(简称M-逐点计算法)是一种采用程序化手段对常规逐点计算法进行细节优化以提高结果准确程度和运算效率的算法,其核心在于利用牛顿迭代法处理非线性方程以逼近短立管水头损失精确值,同时通过程序循环实现整个系统的自动化计算。

M-逐点计算法计算流程如图2所示。

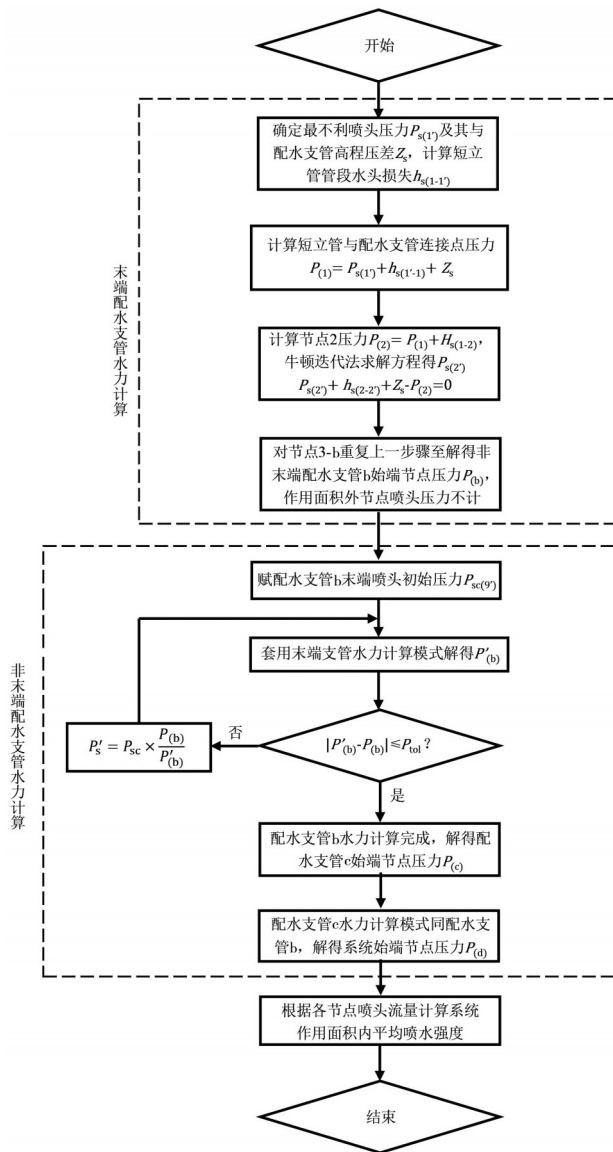


图2 M-逐点计算法计算流程

Fig.2 Flow chart of M-point-by-point calculation method

计算过程关键步骤简述如下。

在将短立管纳入水力计算过程的情况下,配水管末端节点压力可基于最不利喷头压力求解,其计算见下式:

$$P = P_s + h_s + Z_s \quad (4)$$

式中:  $P$  为配水管节点压力, MPa;  $h_s$  为短立管水头损失, MPa;  $Z_s$  为短立管与配水管几何高差产生的水压, 喷头在支管上方取正, 反之取负, MPa。

非末端节点则需利用配水管节点压力  $P$  反算对应喷头压力  $P_s$ , 将式(1)~(3)代入式(4)可得方程(5), 具体见下式:

$$P_s + 6.05 \frac{(K \sqrt{10P_s})^{1.85}}{C_h^{1.85} d_j^{4.87}} \times 10^4 \times (L_z + L_p) + Z_s - P = 0 \quad (5)$$

式中:  $L_z$  为短立管高度, 取 0.8 m;  $L_p$  为 DN25/15 变径管件当量长度, 取 0.2 m。

式(5)为关于  $P_s$  的一元非线性方程, 利用 Matlab 构造牛顿迭代函数<sup>[5]</sup>可较快收敛至方程零点, 从而解得  $P_s$ , 据此可依次求解末端支管各节点压力。

此外, 对于非末端配水管, 则应先赋予其末端喷头 1 个任意的初始压力  $P_{sc}$ , 套用末端支管水力计算模式得到当前支管始端节点试算压力  $P'_{(start)}$ , 若其与基于末端支管解得的节点准确压力  $P_{(start)}$  的偏差大于允许误差  $P_{tol}$ , 则根据式(6)更新  $P_s$  并重复上述运算直至  $|P'_{(start)} - P_{(start)}| \leq P_{tol}$ , 此时即得各节点压力准确值。后续的水力计算均遵循上述流程, 不再赘述。式(6)如下:

$$P'_s = P_{sc} \frac{P_{(start)}}{P'_{(start)}} \quad (6)$$

式中:  $P_{sc}$  为末端喷头试算压力值, MPa;  $P'_s$  为末端喷头修正压力值, MPa;  $P_{(start)}$  为始端节点准确压力值, MPa;  $P'_{(start)}$  为始端节点试算压力值, MPa。

## 2.2 水力计算结果对比

采用不同水力计算方法对图 1 示例中自喷系统作用面积内关键节点压力及流量进行计算, 结果见表 1。

由表 1 可知, 将短立管纳入水力计算过程的组别(T-Y、Z-Y; Y组; M:M组)始端节点 d 的压力水头相较于未考虑短立管的组别(T-N、Z-N; N组)高 0.9~1.0 m。该结果受两方面因素共同影响: 其一是在考虑短立管的情况下, Y组、M组喷头相对配水干管存在高差, 其位置水头转化为压力水头导致节点计算压力升高; 其二是由于短立管水头损失的存在, Y组、M组配水管道流量相较于 N组略低, 因此沿程压力提升计算值偏低。两方面因素互为拮抗, 但几何高差带来的压力提升起主导作用, 因此 Y组、M组始端节点 d 的压力相较于 N组增长明显。此外, 以 M组平均喷水强度计算结果为基准, Y组平均误差绝对值为 1.02%, N组却仅为 0.39%, 该结果与常规认知存在出入, 即考虑短立管影响的 Y组反而误差更大。事实上, Y组以引入“复合喷头”概念将短立管纳入水力计算的方式过于粗放, 由于配水管

道前端喷头流量受短立管干扰相对较小,将系统末端喷头的折算流量系数套用到整个作用面积内喷头的等效计算方式属于“过折减”,因而平均喷水强度计算结果偏低。

表1 自喷系统作用面积内关键节点压力及流量计算结果

Tab.1 Calculation results of key node pressures and flow rates within the action area of the sprinkler system

项目		节点 a		节点 b		节点 c		节点 d		平均喷水强度/ (L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )
		压力/ MPa	流量/ (L·s <sup>-1</sup> )	压力/ MPa	流量/ (L·s <sup>-1</sup> )	压力/MPa	流量/ (L·s <sup>-1</sup> )	压力/MPa	流量/ (L·s <sup>-1</sup> )	
特性系数法	T-N	0.195	7.276	0.200	14.639	0.203	22.058	0.208(-4.59%)	22.058	8.272(+0.44%)
	T-Y	0.204	7.178	0.209	14.437	0.212	21.748	0.217(-0.46%)	21.748	8.156(-0.97%)
逐点计算法	Z-N	0.195	7.276	0.200	14.628	0.203	22.038	0.208(-4.59%)	22.038	8.264(+0.34%)
	Z-Y	0.204	7.178	0.209	14.427	0.212	21.729	0.217(-0.46%)	21.729	8.148(-1.06%)
M-逐点算法	M	0.205	7.252	0.210	14.579	0.213	21.962	0.218(±0.00%)	21.962	8.236(±0.00%)

注: T表示特性系数法,Z表示逐点计算法,M表示M-逐点计算法;N表示忽略短立管对水力计算造成的影响,Y表示利用复合喷头法计算短立管水头损失;括号内数据为当前水力计算方法相对M-逐点算法的增幅(+)或降幅(-)。

其次,对比T组(T-N、T-Y)与Z组(Z-N、Z-Y)可知,两者始端节点d的计算压力均值相等,为0.213 MPa,但T组的平均喷水强度略高于Z组。这是由于特性系数法是基于末端支管求得的支管折算流量系数,在枝状管网内,前端支管相较于末端支管压力高、流量大、水头损失大,其真实折算流量系数较末端支管更低,若直接采用末端支管折算流量系数进行前端支管水力计算会导致流量计算结果偏大。一般情况下,特性系数法计算偏差导致的流量放大对水力计算结果的影响与现行《喷规》未考虑速度水头类似,可作为设计裕量存在,但在管线路由较复杂时,该种偏差具有累加性,因此特性系数法不适用于支管较多的管网。

总体而言,在以等效替代思想简化计算的常规水力计算方法中,逐点计算法的准确性优于特性系数法,复合喷头法在提高节点压力计算准确性的同时会导致干管流量计算值偏低,需对结果进行复核。M-逐点算法相较于常规水力计算方法,实现了自喷系统设计的准确计算,干管压力及平均喷水强度综合计算误差分别降低约2.53%、0.70%,更符合精细化设计的理念<sup>[6]</sup>。

### 3 水力计算设计探讨

#### 3.1 计算参数

基于海曾-威廉公式的自喷系统计算准确性依赖于管道 $C_h$ 系数的恰当选取,不同管材设计 $C_h$ 系数有所区别,同种管材在不同工况、不同使用年限下 $C_h$ 系数亦不相同。以铁基管道为例,镀锌钢管新管 $C_h$ 系数为140,但由于水垢积聚以及腐蚀作用,其设计 $C_h$ 系数通常需折减至120,同时,根据《消防给水

及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014,简称《消水规》),旧钢管 $C_h$ 系数应取100。因此,为探究选用不同 $C_h$ 系数对水力计算结果的影响,分别在 $C_h$ 系数为100、120、140的情况下采用M-逐点算法针对图1实例进行计算,当 $C_h$ 取140时,将其细分为2组,其中140-I组中 $d_i$ 取管道实际内径;140-II组中 $d_i$ 参考舍维列夫公式计算内径取值,为实际内径减1 mm,结果如图3所示。

当 $C_h=100$ 时,节点的计算压力、流量均最高,由于其 $C_h$ 系数取值偏低,沿程水头损失计算值偏大,因此结果相对保守,适用于强腐蚀、微生物活跃环境下的设计。后续组别节点压力、流量均随 $C_h$ 系数的增大逐渐降低,至 $C_h=140$ -I组时达到最低,该组采用新管 $C_h$ 系数进行计算,与设计阶段考虑最不利情况的原则相悖,一般不宜采用。值得注意的是, $C_h=140$ -II组的计算结果与 $C_h=120$ 组十分接近,考虑到管道水力条件变差主要是“生长环”的出现导致管壁粗糙度上升、实际过流水力断面减小<sup>[7]</sup>,分别对应海曾-威廉公式中的 $C_h$ 系数降低及管道内径 $d_i$ 减小,因此选用较小的 $C_h$ 系数或适当调低 $d_i$ 均可模拟实际工况下微生物活动及电化学反应对水力计算结果的影响。

此外,《喷规》附录C提供的管道当量长度为 $C_h=120$ 条件下壁厚等级40系列钢管的实测经验值, $C_h$ 系数直接影响管道的沿程水头损失,然而局部水头损失主要来自管件处漩涡区形成过程中的流动结构急变,与 $C_h$ 系数并无直接关联。因此,基于不同 $C_h$ 系数进行水力计算时需对管道当量长度乘以1个修正系数以保证管件局部水头损失的一致性,当 $C_h=$

100 时,该系数为 0.713;当  $C_h=140$  时,该系数为 1.330。采用不同  $C_h$  系数的自喷系统作用面积内管道水头损失计算结果如表 2 所示。各组局部水头损失均值为 0.050 MPa,标准差仅 0.002 6 MPa,验证了《喷规》中当量长度修正系数取值的合理性。然而各组局部水头损失与沿程水头损失之比存在显著差异,当  $C_h$  系数较小,即管道相对粗糙时,沿程水头损失占总水头损失的比例较高。因此,《消水规》提出的自喷系统计算局部水头损失时可按沿程水头损失的 30% 计,在现行水力计算公式及算法条件下存在一定偏差,在工程实践中粗算局部水头损失时应根据  $C_h$  系数相应调整经验百分数。基于该例试算,热镀锌钢管  $C_h=100\sim 140$  时局部水头损失约为沿程水头损失的 47.62%~88.68%,随  $C_h$  系数增大单调上升,当  $C_h=120$  时宜取 60%~70%。

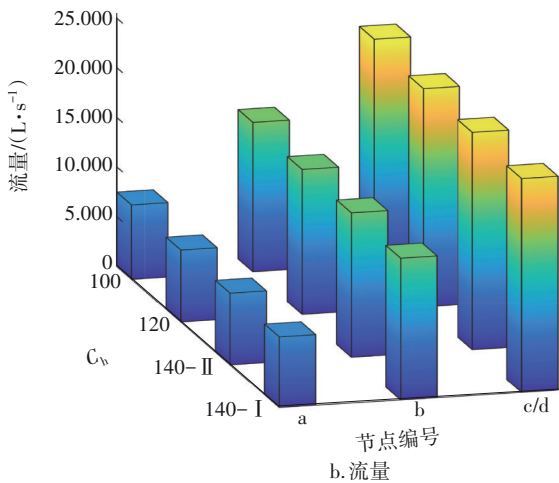
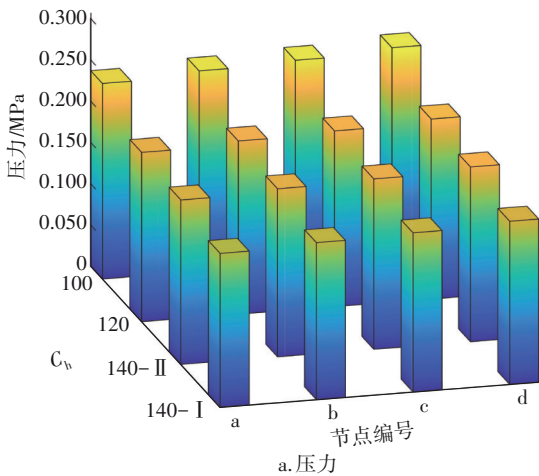


图 3 采用不同  $C_h$  系数的自喷系统作用面积内关键节点压力及流量

Fig.3 Key node pressures and flow rates within the action area of the sprinkler system using different  $C_h$  coefficients

表 2 采用不同  $C_h$  系数的自喷系统作用面积内管道水头损失计算结果

Tab.2 Calculation results of pipeline head loss within the action area of the sprinkler system using different  $C_h$  coefficients

项目	组别			
	$C_h=100$	$C_h=120$	$C_h=140-I$	$C_h=140-II$
管道总长度/m	33.15			
管道总当量长度/m	26.60			
沿程水头损失/MPa	0.105	0.072	0.053	0.061
局部水头损失/MPa	0.050	0.048	0.047	0.053
总水头损失/MPa	0.155	0.120	0.100	0.114
局部水头损失占沿程水头损失百分比/%	47.62	66.67	88.68	86.89

### 3.2 计算公式

《消水规》提出消防给水管道单位长度沿程水头损失可按达西公式进行计算,具体见下式:

$$i = 10^{-6} \frac{\lambda \rho v^2}{d_j^2} \quad (7)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \log \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.71 d_j} \right) \quad (8)$$

式中: $\lambda$  为沿程损失阻力系数; $\rho$  为水的密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v$  为管道平均流速,  $\text{m/s}$ ;  $Re$  为雷诺数; $\varepsilon$  为当量粗糙度,  $\text{m}$ 。

此外,《喷规》(2005 版)曾选用舍维列夫公式作为沿程水头损失计算公式,具体见下式:

$$i = 0.0107 \frac{v^2}{(d_j - 1)^{1.3}} \quad (9)$$

为探究不同水头损失公式计算结果的差异性,分别选用海曾-威廉公式、达西公式、舍维列夫公式针对图 1 实例采用 M-逐点计算法进行水力计算,结果如图 4 所示。其中采用海曾-威廉公式计算时,设计  $C_h$  系数取 120,根据《消水规》,此时的管道粗糙度与选用达西公式时  $\varepsilon$  取 0.000 15 m 对应,计算达西公式中  $Re$  时水的黏滞系数按水温为 10 °C 取值。

由图 4 可知,舍维列夫公式的水力计算结果显著偏高,其始端节点 d 计算压力为 0.431 MPa,流量为 25.509 L/s,相较于海曾-威廉公式分别高约 97.71%、16.15%。舍维列夫公式是 20 世纪中叶基于旧铸铁管及旧钢管实测数据推导出的适用于阻力平方区的经验公式,目前已较少采用,仅《泡沫灭火系统技术标准》(GB 50151—2021)中提到,考虑

到普通钢管抗老化性、耐腐蚀性较差,当管材为普通钢管时宜选用相对保守的舍维列夫公式。然而《消水规》指出旧钢管设计 $C_h$ 系数为100,根据图3可知, $C_h=100$ 组节点d的计算压力为0.253 MPa,流量为22.652 L/s,同样明显低于舍维列夫公式计算值,因此采用舍维列夫公式进行自喷系统设计易造成浪费,需慎重选用。

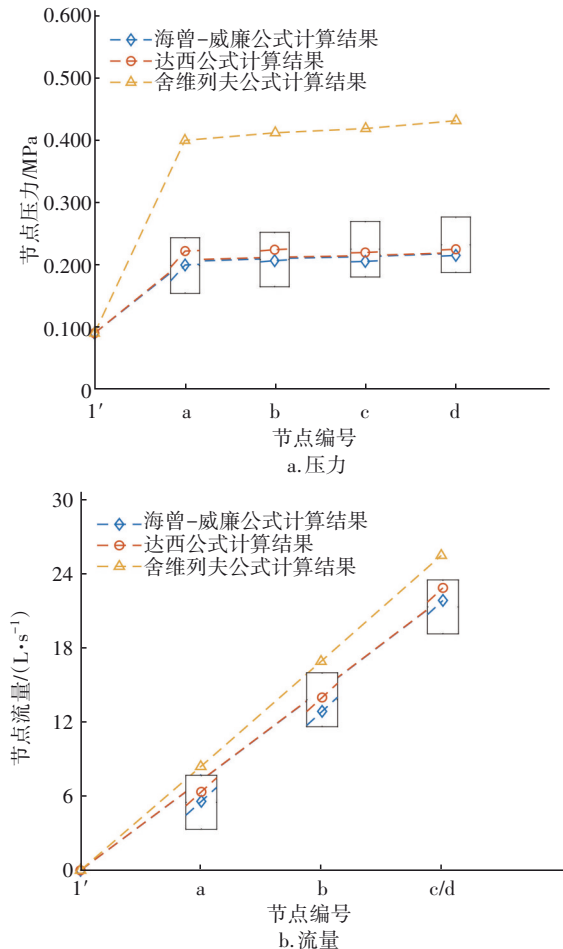


图4 采用不同水力计算公式的自喷系统作用面积内关键节点压力及流量

Fig.4 Key node pressures and flow rates within the action area of the sprinkler system using different hydraulic calculation formulas

达西公式计算结果则与海曾-威廉公式极为接近,两者在水力计算过程中任意节点数据的一致性均较高,始端节点d的压力、流量计算值分别相差约0.46%、0.10%,验证了达西公式用于自喷系统设计的合理性。事实上,由于考虑了流态以及流体在不同温度下的密度、黏度,达西公式相较于海曾-威廉公式的计算准确性更高。然而《喷规》并未选用达

西公式作为自喷系统常规水头损失计算公式,笔者认为原因如下:其一,达西公式计算过程繁琐,式(8)为非线性方程,通常仅能通过查穆迪图求解;其二,自喷系统管道内流体温度几乎保持恒定,流体密度及黏度的变化极小,对计算结果干扰较小,同时流体流态对单位长度水头损失计算的影响也十分轻微,因此选用相对更加简洁的海曾-威廉公式是合理的。值得一提的是,部分低温地区的自喷系统管道内添加了防冻液,其与水形成混合流体以致密度、黏度明显上升,此时流体流态对沿程水头损失计算的影响不可忽略,该种情况下则应考虑选用达西公式以确保设计压力、流量计算的准确性。达西公式相较于海曾-威廉公式泛用性更强、准确性更高,制约其大规模应用的主要原因是其复杂的计算过程,而M-逐点计算法基于牛顿迭代法可高效求解达西公式中的非线性方程,为达西公式大规模推广提供了一条实践路径。

### 3.3 经济性优化

M-逐点计算法的准确性意味着其可为自喷系统经济性优化提供更有力的支撑。管道公称直径与单位长度理论质量及造价呈正相关关系,即从一次投资的经济性角度考量应尽量选用小管径管道,然而减小管径会导致系统水头损失变大,增加消防设施造价或降低系统喷水强度,因此配管选择需兼顾经济性及安全性。公称管径小于DN80的小管径配水支管数量较多且流速选择范围较大,针对该类配水支管的管径优化具有实际工业价值。由于逐点计算法基于最不利点喷头压力进行递推计算,在相同接管模式下非末端配水支管压力及流量相较于末端配水支管必然更大,因此,在保证末端配水支管管径不变的条件下适当减小非末端支管管径(简称非末端优化法),可在降低造价的同时提升喷水均匀性。

表3为不同配管模式下配水支管控制的标准流量洒水喷头数量。其中,配管模式A为《喷规》确定的中危险级不同管径管道不宜超过的可控制最大喷头数量,配管模式F为图1实例中选用的适当放大管径的配管模式,同时《喷规》规定配水支管连接的喷头数不应超过8个,因此配管模式A~E为非末端配水支管所有可能的优化配管模式。

基于图1实例,采用不同配管模式的综合计算结果如表4所示。其中喷水均衡性为最不利作用面

积内 4 个喷头平均喷水强度与全局平均喷水强度之比,其值越高代表系统水力特性越优。经济性指标为作用面积内管道理论质量,可在一定程度上代表系统造价<sup>[8]</sup>。

由表 4 可知,在仅优化非末端配水支管的情况下,各配管模式干管节点(节点 a~d)的压力值均相等,配管模式 A~E 相较于配管模式 F 在全局喷水强度及最不利作用面积内平均喷水强度的最大降幅分别为 3.06% 及 3.42%,证实非末端优化法在控制造价的同时依然能够保证系统的可靠性。此外,虽然配管模式 A~C 在造价上有一定程度降低,但其全局及最不利点喷头压力标准差相较于配管模式 F 增幅较大,表明其配水均匀性出现明显下降,通常不建议采用。配管模式 D、E 的配水均衡性相较于配管模式 F 分别增长 0.41%、0.25%,同时其全局及最不利作用面积内喷头压力标准差均有所下降,因此,在全局喷水强度符合规范要求且复核各配水支管流速不超过 7 m/s 的前提下,配管模式 D、E 相对配管模式 F 展现出更好的水力特性和更低的总体造价,应被优先选用。值得一提的是,非末端优化法

会导致除末端支管外配水支管水头损失增大,需复核作用面积内任意 4 个喷头合围面积内平均喷水强度是否符合《喷规》要求。总体而言,针对 DN40 以下管径管道的优化对系统水力特性存在较大负面影响,同时降低系统造价的效果并不明显,因此自喷系统配管优化的重心宜集中在 DN40~65 管径管道,既保证不对消防选泵造成干扰,又可在降低造价的同时优化系统作用效果。

表 3 不同配管模式配水支管控制的标准流量洒水喷头数量

Tab.3 Numbers of standard flow sprinkler controlled by different piping modes for distribution branches 支

公称管径	控制的喷头数					
	配管模式 A	配管模式 B	配管模式 C	配管模式 D	配管模式 E	配管模式 F
DN25	1	1	1	1	1	1
DN32	3	3	3	2	2	2
DN40	4	4	4	4	4	4
DN50	8	7	6	8	7	6
DN65		8	8		8	8

表 4 基于不同配管模式的综合计算结果

Tab.4 Comprehensive calculation results based on different piping modes

项目	配管模式 A	配管模式 B	配管模式 C	配管模式 D	配管模式 E	配管模式 F
节点 a 压力/MPa	0.205					
节点 b 压力/MPa	0.210					
节点 c 压力/MPa	0.213					
节点 d(始端)压力/MPa	0.218					
全局喷头压力标准差/MPa	0.029 2 (+8.96%)	0.029 5 (+10.07%)	0.030 0 (+11.94%)	0.025 9 (-3.36%)	0.026 2 (-2.24%)	0.026 8 (±0.00%)
最不利作用面积内喷头压力标准差/MPa	0.008 4 (+37.70%)	0.007 8 (+27.87%)	0.006 8 (+11.48%)	0.006 1 (±0.00%)	0.005 9 (-3.28%)	0.006 1 (±0.00%)
全局平均喷水强度/(L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	7.984 (-3.06%)	8.031 (-2.49%)	8.113 (-1.49%)	8.098 (-1.68%)	8.149 (-1.06%)	8.236 (±0.00%)
最不利作用面积内平均喷水强度/(L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	7.064 (-3.42%)	7.100 (-2.93%)	7.149 (-2.26%)	7.221 (-1.27%)	7.255 (-0.81%)	7.314 (±0.00%)
喷水均衡性/%	88.45 (-0.41%)	88.41 (-0.45%)	88.12 (-0.78%)	89.17 (+0.41%)	89.03 (+0.25%)	88.81 (±0.00%)
作用面积内配水管道理论质量/kg	437.40 (-4.55%)	443.23 (-3.25%)	454.88 (-0.71%)	440.67 (-3.81%)	446.49 (-2.54%)	458.14 (±0.00%)

注: 括号内数据为当前配管模式相较于配管模式 F 的增幅(+)或降幅(-)。

#### 4 结论

① 常规水力计算模式存在利用等效替代方法降低计算复杂度的情况,结果存在一定误差。基

于 Matlab 的 M-逐点算法可高效处理自喷系统水力计算过程中涉及的迭代计算及非线性方程求解问题,基于提前编写的程序可根据给定的末端喷头

压力自动完成作用面积内喷水强度及干管始端压力的求解,在降低运算时长的同时实现考虑短立管水头损失情况下的准确水力计算,相较于常规水力计算方法,压力及流量综合误差分别降低约2.53%及0.70%。

② 针对不同项目,应复核海曾-威廉公式选用不同 $C_h$ 系数时的计算结果,确定最不利及相对有利条件下系统设计流量及压力的变化范围。同时应针对不同 $C_h$ 系数复核水头损失计算结果,若采用经验百分数法粗算系统作用面积内局部水头损失,当 $C_h=120$ 时宜取沿程水头损失的60%~70%。

③ 现行规范推荐选用的3种水头损失公式中,舍维列夫公式计算结果相较于海曾-威廉公式偏差较大,应用场景较为局限。达西公式计算值则与海曾-威廉公式十分接近且泛用性更强,可利用M-逐点计算法优化其繁琐的计算过程。

④ 针对配水管道管径的经济性优化,建议将重心集中在非末端配水支管中公称管径DN40~65的管道,适当减小该部分管道管径,可在降低造价的同时提升配水均匀性。

#### 参考文献:

- [1] 余小明. EXCEL迭代计算在自动喷水灭火系统水力计算中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 41-46.  
YU Xiaoming. Application of EXCEL iterative calculation in hydraulic calculation of automatic sprinkler system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 41-46 (in Chinese).
- [2] 黄黎明,戴欣月,肖敏艳. EPANET与FluidFlow在消防自喷系统水力计算中的对比研究[J]. 给水排水, 2021, 47(S1): 355-358.  
HUANG Liming, DAI Xinyue, XIAO Minyan. Comparative study in hydraulic calculation of sprinkler system with EPANET and FluidFlow [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S1): 355-358 (in Chinese).
- [3] 黄海峰,袁建平. 自动喷水灭火系统支管特性系数水力算法[J]. 给水排水, 2009, 35(5): 193-197.  
HUANG Haifeng, YUAN Jianping. Hydraulic calculation method based on characteristics of branch

pipes in sprinkler system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(5): 193-197 (in Chinese).

- [4] 徐得潜,钱安贞. 自动喷水灭火系统设计流量计算方法的研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 130-135.  
XU Deqian, QIAN Anzhen. Research on calculation method of design flow of sprinkler system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 130-135 (in Chinese).
- [5] 王训斌,杜坤,宋志刚,等. 基于水力模型的市政管网消防供水能力评估方法研究[J]. 给水排水, 2018, 44(11): 113-116.  
WANG Xunbin, DU Kun, SONG Zhigang, et al. Research on water supply capability evaluation method of municipal pipe network based on hydraulic model [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(11): 113-116 (in Chinese).
- [6] 周逢源,王定城. 自动喷水灭火系统均衡出流与综合造价分析探讨[J]. 给水排水, 2021, 47(10): 106-109.  
ZHOU Fengyuan, WANG Dingcheng. Hydraulic effect and economic analysis of automatic sprinkler system design [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(10): 106-109 (in Chinese).
- [7] 纪雪梅,马俊芳,沈亚茹,等. 西北地区农村供水管网二次污染气水脉冲处理技术应用研究[J]. 给水排水, 2021, 47(9): 109-114.  
JI Xuemei, MA Junfang, SHEN Yaru, et al. Application of gas-water pulse technology in secondary polluted water supply network in Northwest China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(9): 109-114 (in Chinese).
- [8] 王洪武. 自动喷水灭火系统管道流速选择探讨[J]. 给水排水, 2022, 48(3): 112-115.  
WANG Hongwu. Discussion on the selection of velocity in pipes of sprinkler system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(3): 112-115 (in Chinese).

作者简介:王远飞(1999- ),男,四川邛崃人,硕士,助理工程师,主要研究方向为市政及建筑给水排水。

E-mail:450464764@qq.com

收稿日期:2024-08-07

修回日期:2024-09-13

(编辑:沈靖怡)